

# Corso di Percezione Robotica (PRo)

## Modulo A. Introduzione alla Biorobotica

*Prof.ssa Cecilia Laschi*

cecilia.laschi@sssup.it

*Scuola Superiore Sant'Anna, Pisa*



Scuola Superiore  
Sant'Anna

di Studi Universitari e di Perfezionamento

*ARTS Lab*

*Advanced Robotics Technology &  
Systems Laboratory*



Corso di Laurea Specialistica in Informatica  
Università di Pisa

# Sommario della lezione

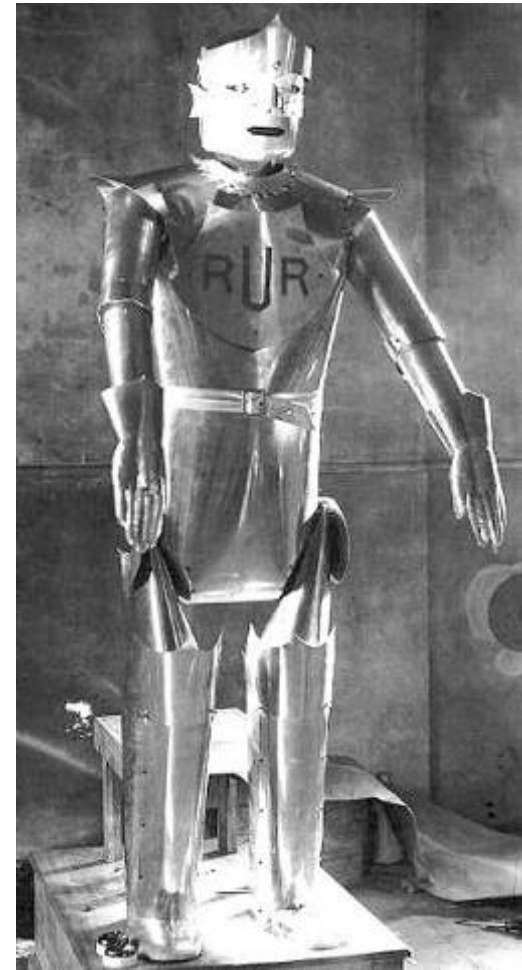


- Definizione di Robotica e di mecatronica
- Definizione di Biorobotica e sue relazioni con l'Ingegneria Biomedica
- Illustrazione dei settori della Scienza e Ingegneria Biorobotica
- Lo schema comune di un sistema robotico tipico

# Etimologia del termine “robot”

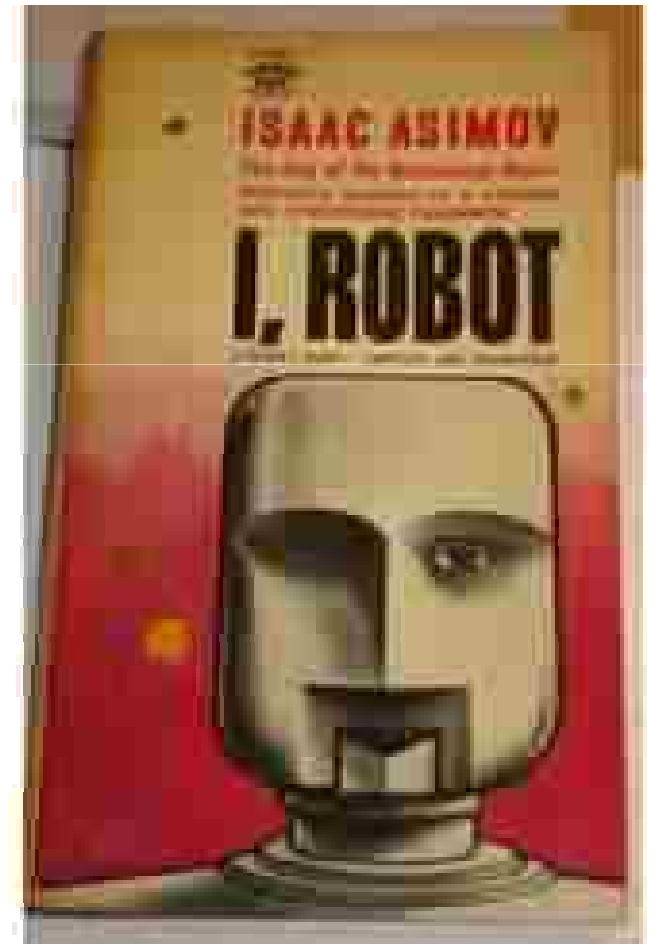
Il termine **robot** fu usato per la prima volta dallo scrittore ceco **Karel Čapek**, nel **1920** nel suo romanzo *R.U.R. (Rossum's Universal Robots)*. Deriva dal termine **ceco robotá**, che significa "**lavoro pesante**" o "**lavoro forzato**".

In realtà il vero inventore della parola *robot* fu il fratello di Karl Čapek, **Josef**, anche lui scrittore e pittore cubista, il quale utilizzò la parola "*automat*", (automa), in un suo racconto del **1917**, ***Opilec*** ("L'ubriacone"). Il termine greco ***autòmaton*** significa "che si muove da sé".



# Etimologia del termine “robotica”

- Il termine "**robotica**" venne usato per la prima volta (su carta stampata) nel racconto di Isaac Asimov intitolato *Circolo vizioso* (*Runaround*, 1942), presente nella sua famosa raccolta *Io, Robot*.
- In esso, egli citava le *tre regole della robotica*, che in seguito divennero le **Tre leggi della robotica**.





# Le tre leggi della robotica di Asimov

- Un robot non può recare danno a un essere umano, né può permettere che, a causa del suo mancato intervento, un essere umano riceva danno.
- Un robot deve obbedire agli ordini impartiti dagli esseri umani, purché tali ordini non contravvengano alla Prima Legge.
- Un robot deve proteggere la propria esistenza, purché questa autodifesa non contrasti con la Prima e la Seconda Legge.

# Definizioni di Robotica



- A robot is a re-programmable, multi-functional, manipulator designed to move material, parts, or specialized devices through variable programmed motions for the performance of a task
- *Un robot è un manipolatore multifunzionale riprogrammabile progettato per muovere materiali, componenti, o dispositivi specializzati, attraverso movimenti variabili programmati per lo svolgimento del compito*

*Robotics Industry Association (~ 1980)*

- Robotics is the intelligent connection of perception to action
- *Robotica è la connessione intelligente della percezione all'azione*

*Michael Brady (~1985)*

- A robot is a machine able to extract information from its environment and use knowledge about its world to move safely in a meaningful and purposeful manner
- *Un robot è una macchina in grado di estrarre informazioni dall'ambiente e di usare la conoscenza sul mondo per muoversi in maniera sicura, significativa e intenzionale*

*Maja Mataric (~ 1990)*

- Robotics is the science and technology of the design of **mechatronic** systems capable of generating and controlling **motion** and force
- *Robotica è la scienza e tecnologia della progettazione di sistemi **meccatronici** capaci di generare e controllare **movimento** e forza*

*Paolo Dario (~ 2000)*





# Una definizione più generale di robot

Un robot è una **macchina** che raccoglie informazioni dall'ambiente circostante (**sente**) e le utilizza per pianificare determinati comportamenti ("**pensa**") che le permettono di compiere delle azioni nell'ambiente in cui si trova (**agisce**)

*George Bekey, 2005*

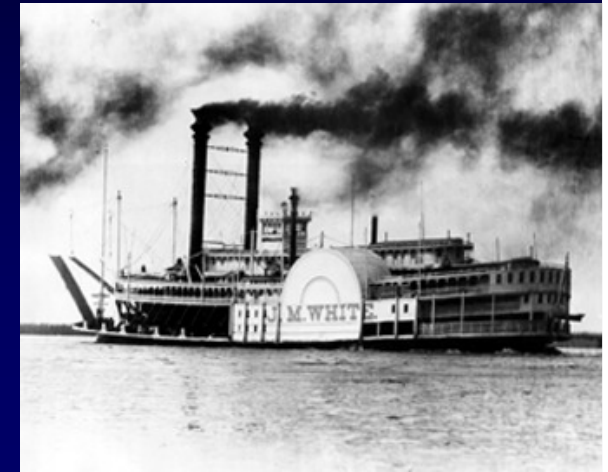
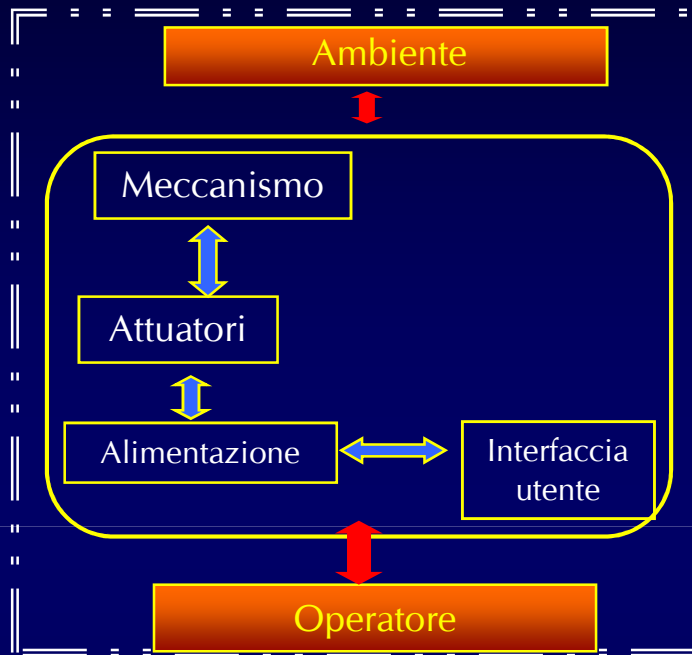
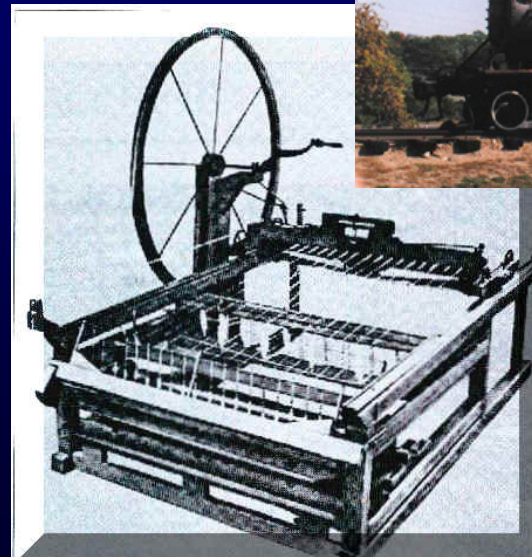


Sente, pensa e agisce...  
*Ma come?*

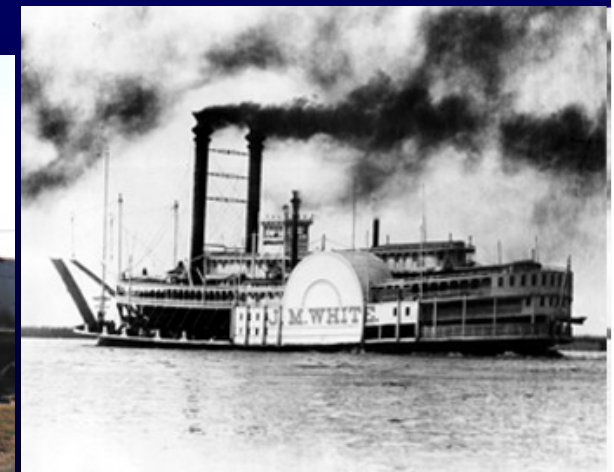
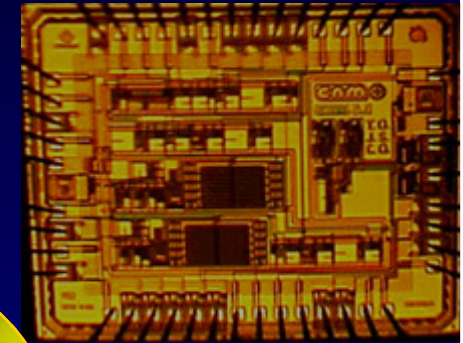
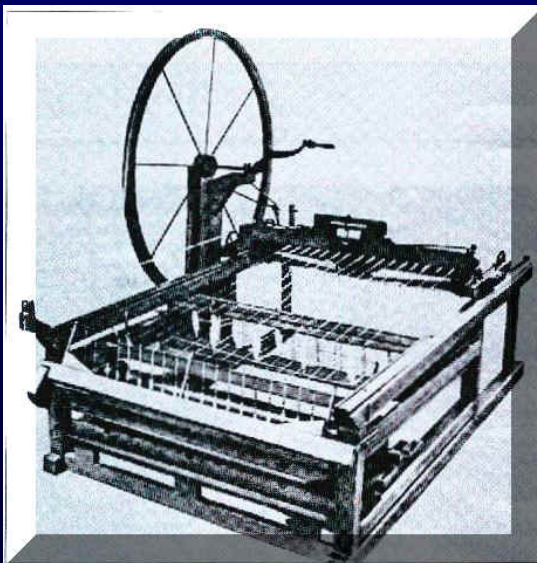
**Il paradigma della mecatronica**



# Macchine tradizionali (pre-meccatroniche)



# L'avvento della microelettronica: un cambio di paradigma nella progettazione di macchine



# Meccatronica: il paradigma moderno per la progettazione di macchine



Boeing 777

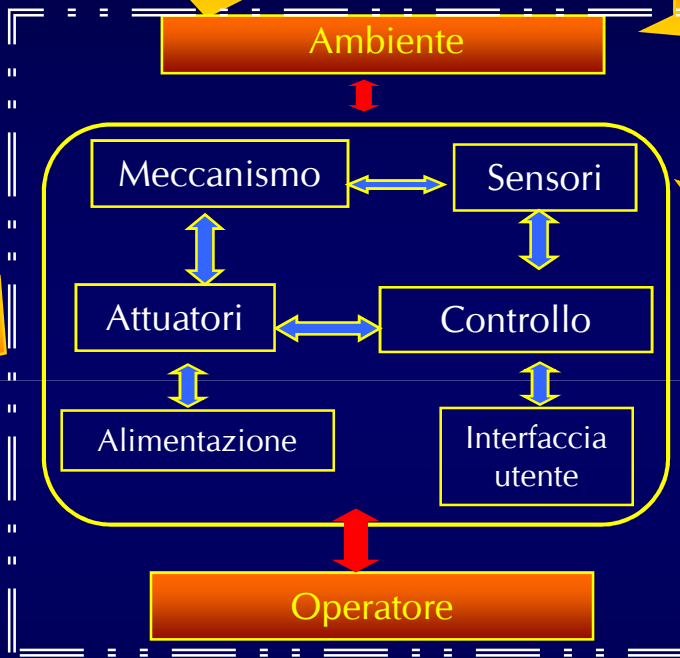


Lavatrice



Telecamera digitale

Robot Industriale



Ferrari - 550 Maranello

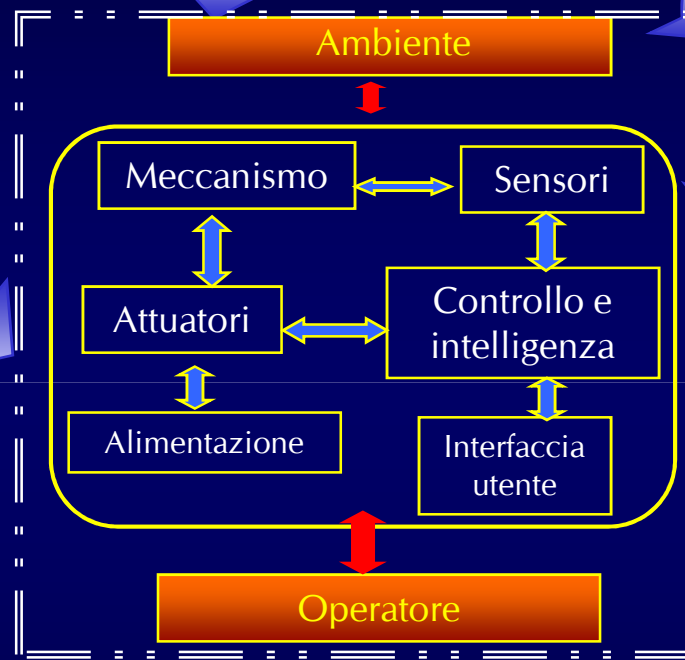
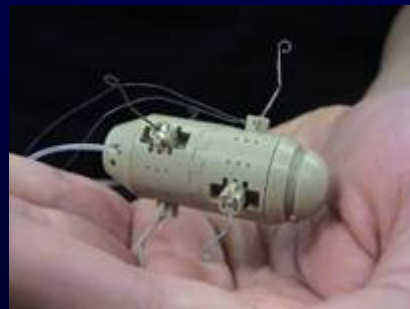
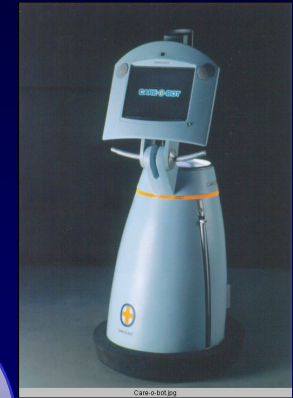


Aprilia Leo250





# La meccatronica: il paradigma della progettazione di robot

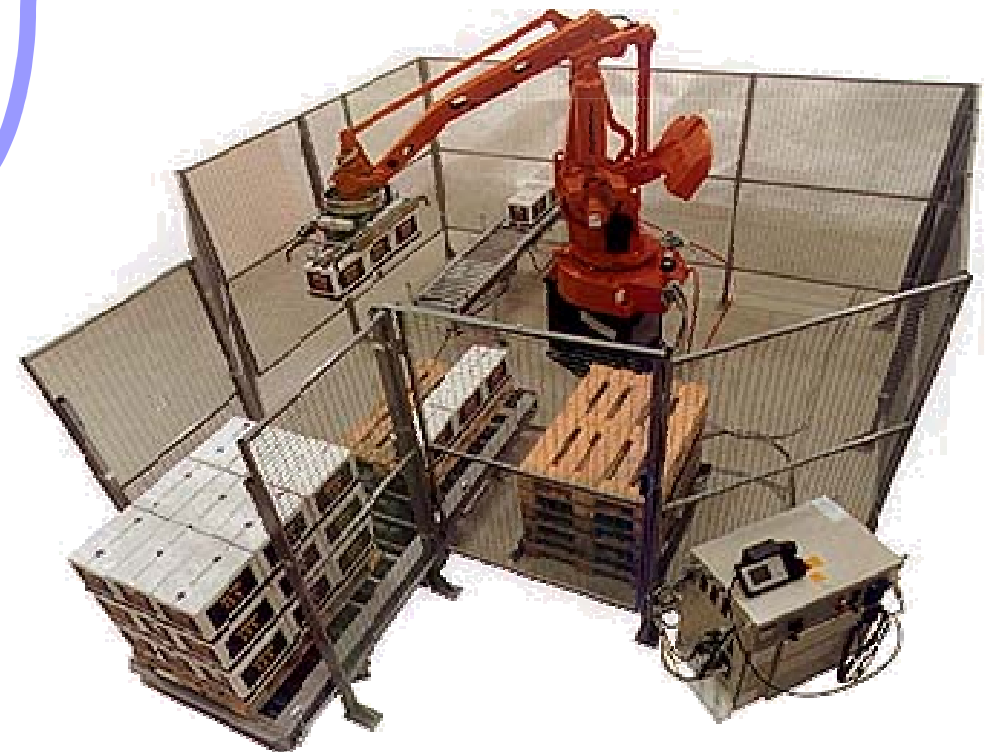


# Evoluzione della Robotica

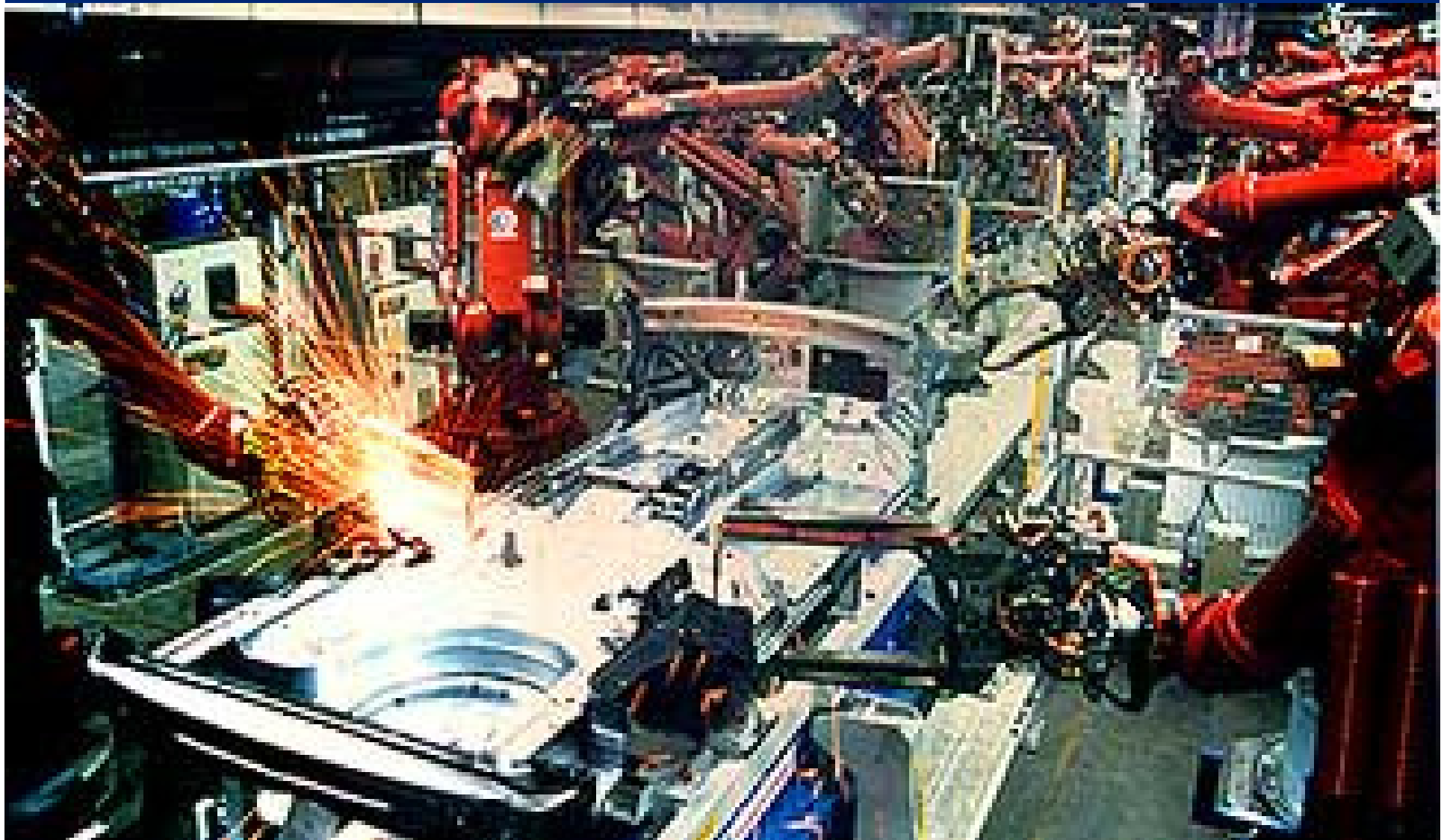
BISOGNO  
di  
macchine  
utili

Robotica  
Industriale

Automazione  
industriale



# Automazione Industriale: la nascita e lo sviluppo della Robotica



# Scenario robotico industriale

Ambiente  
strutturato sui  
bisogni del robot

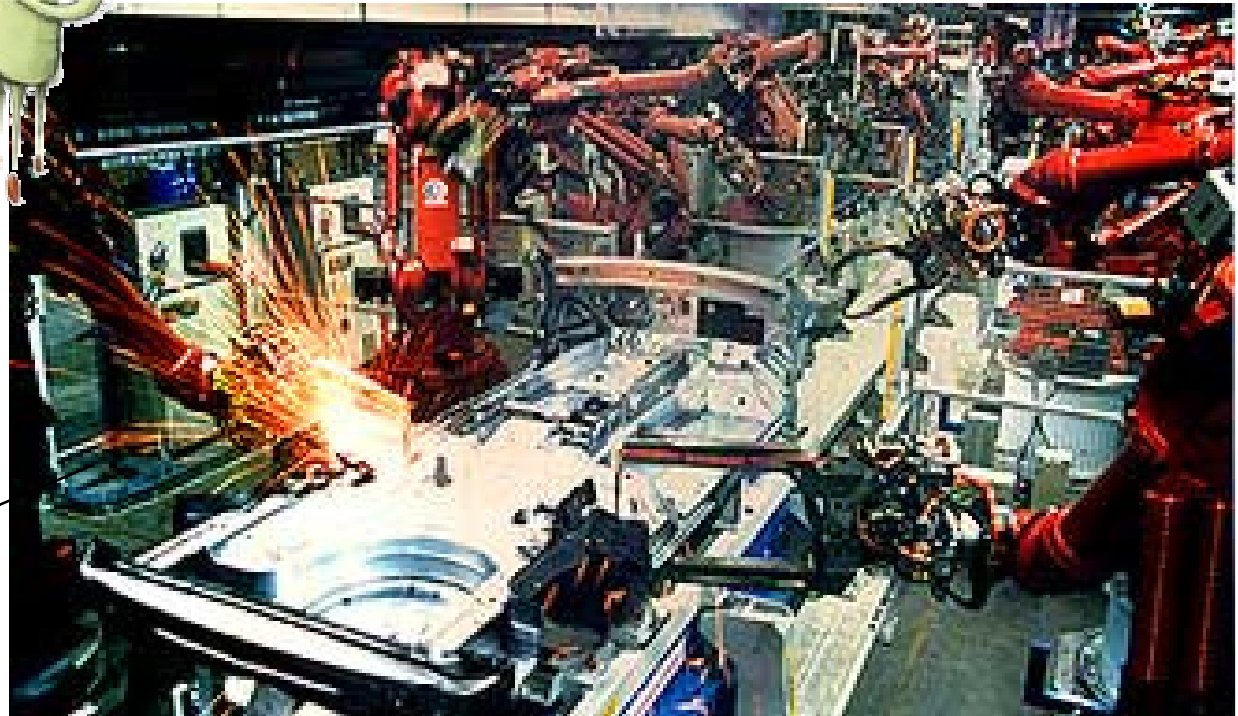
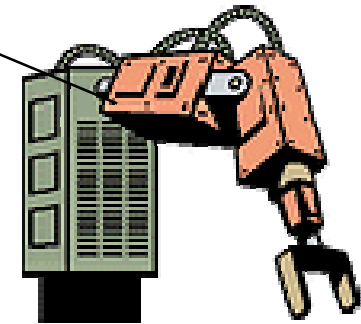
Manipolatori ad elevate  
prestazioni in termini di  
accuratezza, ripetibilità,  
velocità, robustezza

Procedure ben  
definite ripetitive

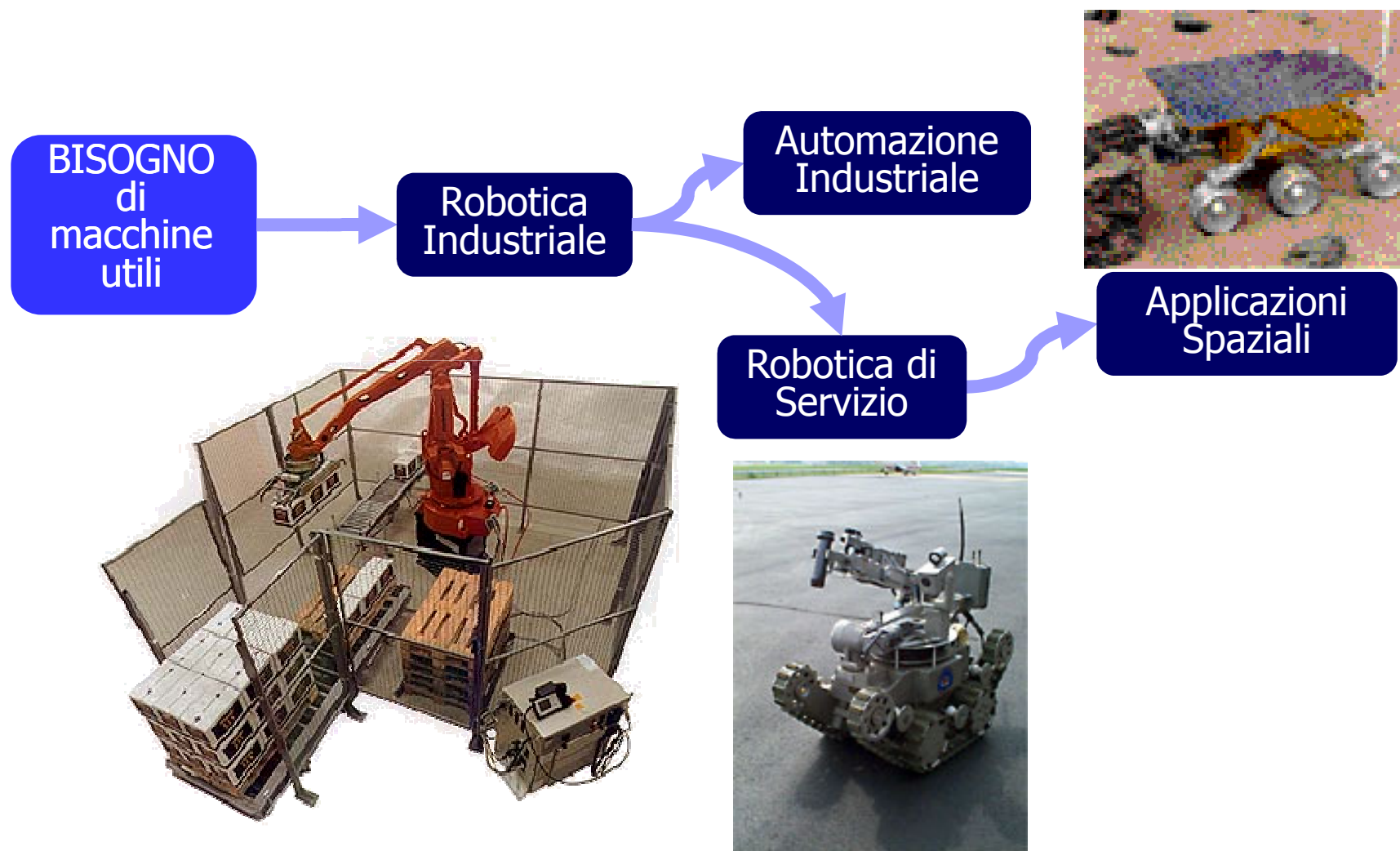
Operatori  
esperti  
(formati  
all'uso)

Posizioni  
predefinite degli  
oggetti da  
manipolare

Presenza umana  
umana nell'ambiente di  
lavoro ben delimitata

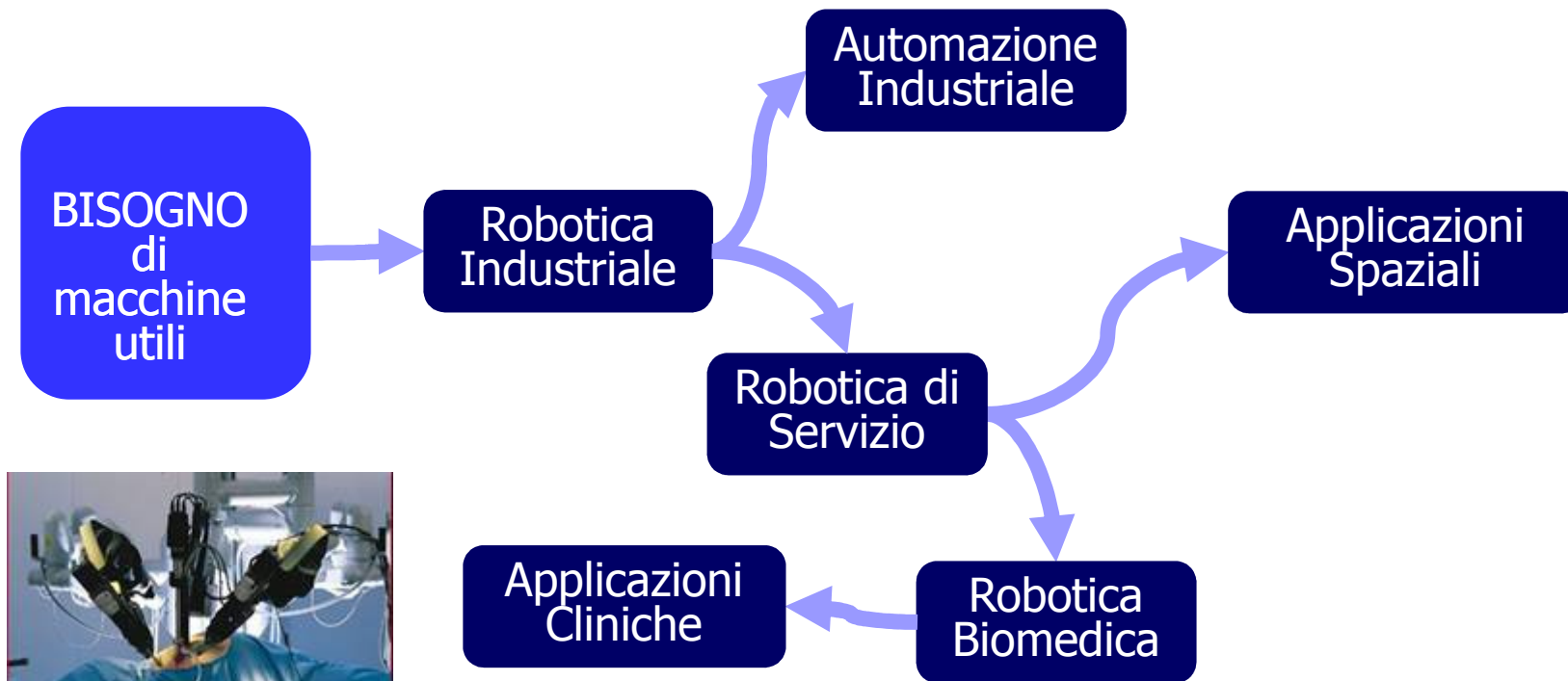


# Evoluzione della Robotica





# Evoluzione della robotica



Assistenti Personali



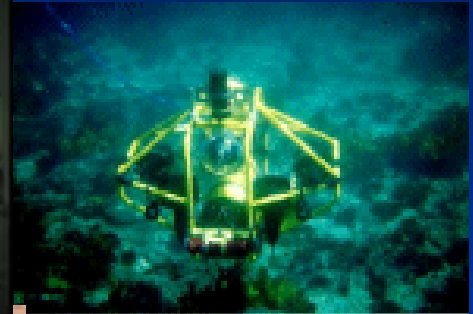
# I robot fuori dalle fabbriche...



Servizi



Photo: Center for Robot-Assisted Search and Rescue



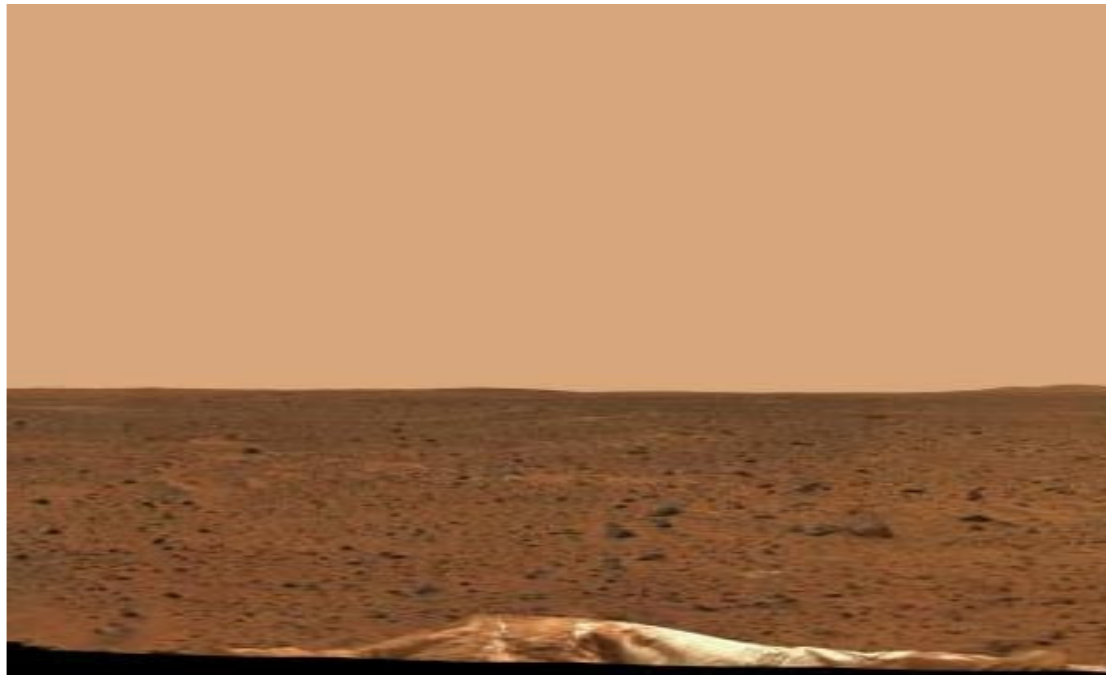
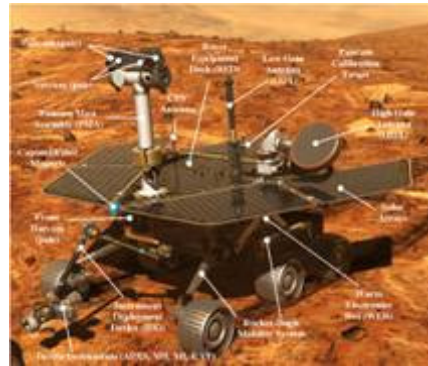
Ambienti  
ostili



- Condivisione dello spazio di lavoro tra uomo e robot
- Maggiori capacità percettive
- Comportamento reattivo

# Esplorazioni spaziali

- Spirit, Opportunity (2003) e il Robonauta

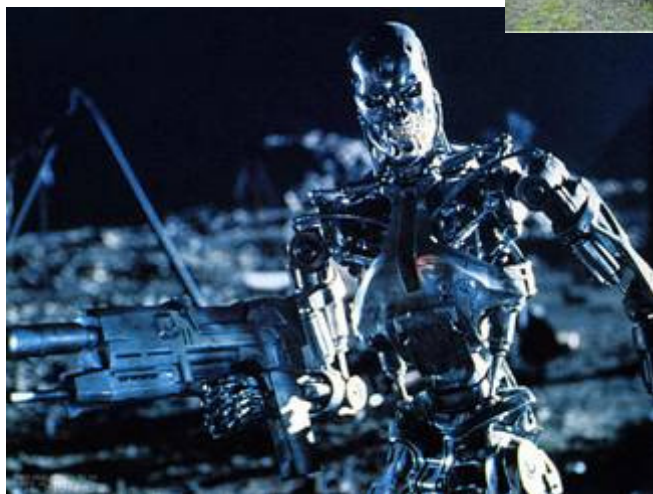
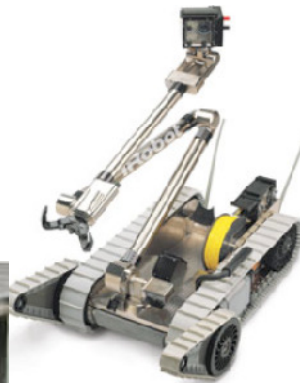




# Robot sottomarini



# Robot da Guerra

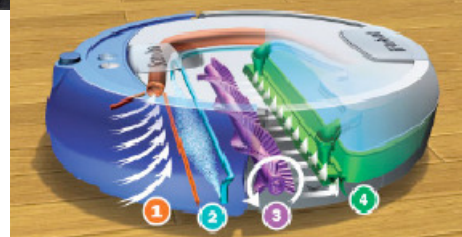




# Applicazioni domestiche

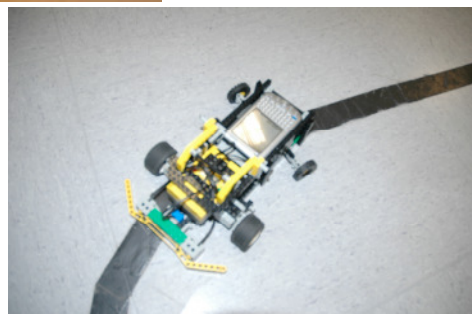


4 cleaning methods in 1 pass





# Robot per intrattenimento e edutainment





ENDING PAIN WITHOUT SIDE EFFECTS • THE MOUNTAINS THAT SANK

# SCIENTIFIC AMERICAN

JANUARY 2007

WWW.SCIAM.COM

If This Is a  
**PLANET**,  
Then Why  
Isn't Pluto?



## DAWN OF THE AGE OF ROBOTS

**Bill Gates** writes that  
every home will soon have  
smart mobile devices

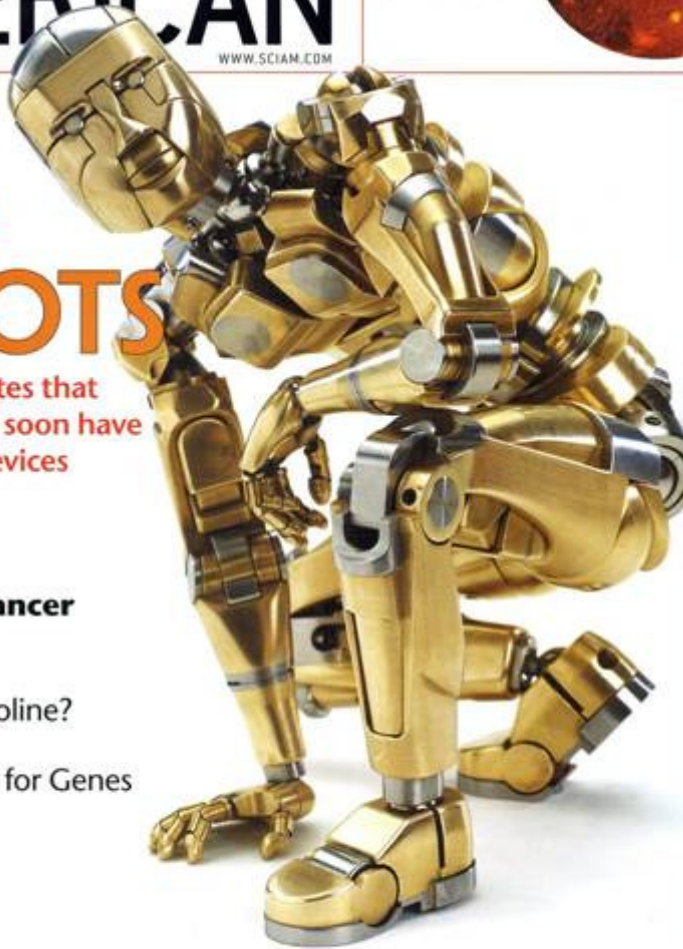
Evolution and **Cancer**

Can **Ethanol**  
Replace Gasoline?

Secret **Controls** for Genes



\$4.99 U.S. \$6.99 CAN



www.lescienze.it  
**le Scienze**  
edizione italiana di SCIENTIFIC AMERICAN



Nuovi indizi  
sull'impronta  
del big bang

Come stimare  
il rischio genetico  
di tumori

**ESCLUSIVA**

**BILL GATES**  
RACCONTA  
COME E PERCHÉ  
LA PROSSIMA  
RIVOLUZIONE  
TECNOLOGICA  
ARRIVERÀ  
DALLA ROBOTICA

## Un robot in ogni casa

FOTO: PHILIPPE BOUAFIA - G. L. / PHOTOFEST; M. J. / PHOTOFEST; M. J. / PHOTOFEST; M. J. / PHOTOFEST; M. J. / PHOTOFEST; M. J. / PHOTOFEST; M. J. / PHOTOFEST; M. J. / PHOTOFEST; M. J. / PHOTOFEST; M. J. / PHOTOFEST



Ambiente: la rinascita di un ecosistema | Gli acquedotti del Maya | Nuove ipotesi sulle grandi estinzioni





# Definizione di robot autonomo

- Macchina capace di accettare ed eseguire **autonomamente** comandi o missioni in ambienti **non completamente strutturati senza l'intervento dell'uomo**
- Problematiche:  
*“pianificare dinamicamente i comportamenti del robot in un ambiente di lavoro non noto a priori e variabile nel tempo in funzione della richiesta di esecuzione di un determinato compito”*

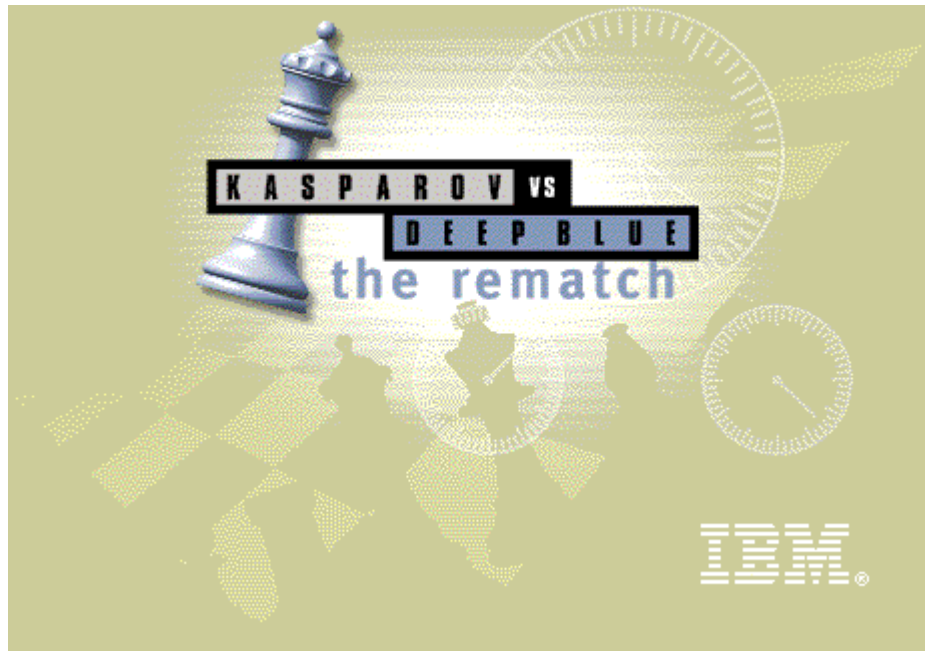


# Intelligenza Artificiale

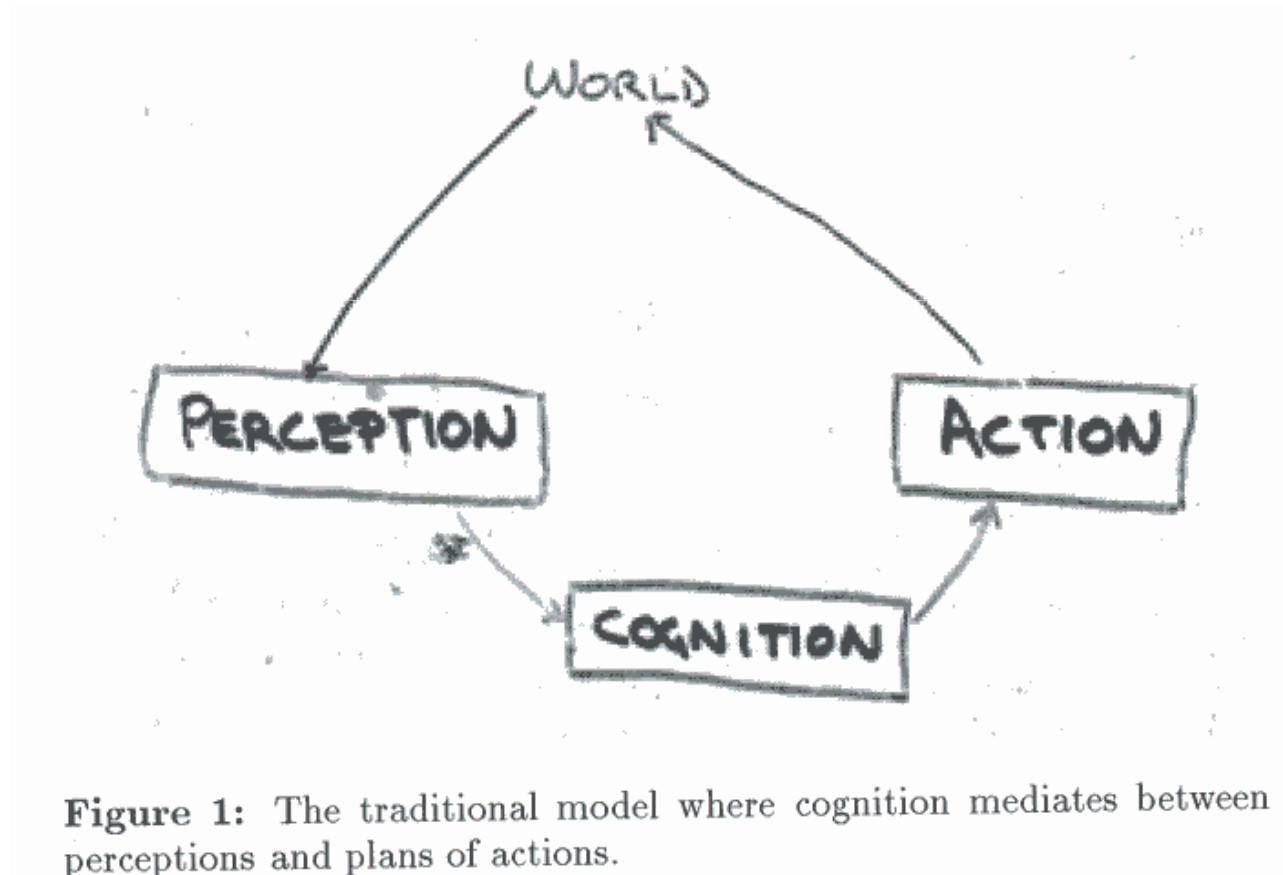
- L'abilità di un computer di svolgere funzioni e ragionamenti tipici della mente umana.
- L'espressione "Intelligenza Artificiale" (Artificial Intelligence) fu coniata nel 1956 dal matematico americano John McCarthy, durante uno storico seminario interdisciplinare svoltosi nel New Hampshire. Secondo le parole di Marvin Minsky, uno dei "pionieri" della I.A., lo scopo di questa nuova disciplina sarebbe stato quello di "far fare alle macchine delle cose che richiederebbero l'intelligenza se fossero fatte dagli uomini".
- L'intelligenza artificiale è una disciplina dibattuta tra scienziati e filosofi, la quale manifesta aspetti sia teorici che pratici.
- Nel suo aspetto puramente informatico, essa comprende la teoria e le tecniche per lo sviluppo di algoritmi che consentano alle macchine (tipicamente ai calcolatori) di mostrare un'abilità e/o attività intelligente, almeno in domini specifici.
- Uno dei problemi principali dell'intelligenza artificiale è quello di dare una definizione formale delle funzioni sintetiche/astratte di ragionamento, meta-ragionamento e apprendimento dell'uomo, per poter poi costruire dei modelli computazionali che li concretizzano e realizzano (in modo "goal-oriented")

# Deep Blue, IBM

- Il computer che ha battuto il campione di scacchi Kasparov



# Architetture Gerarchiche: Modello tradizionale per AI



*Tratto da: R. Brooks, Cambrian Intelligence, MIT Press, 2000*



# Embodiment

- “Non può esistere una macchina con un’intelligenza e un comportamento simili all’uomo che non sia dotata di un sistema sensoriale con prestazioni simili a quelle umane”

*Rodney A. Brooks, 1998*

*Direttore Artificial Intelligence Laboratory*

*MIT - Massachusetts Institute of Technology*

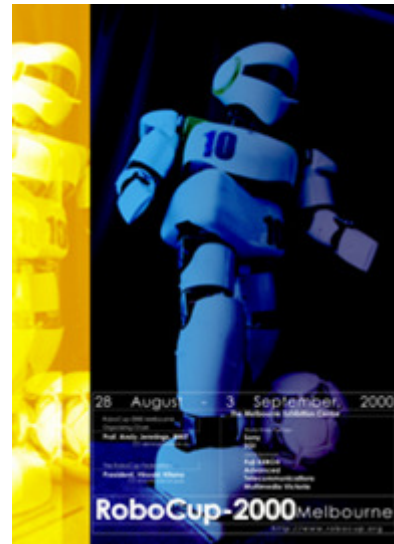
*Boston, USA*



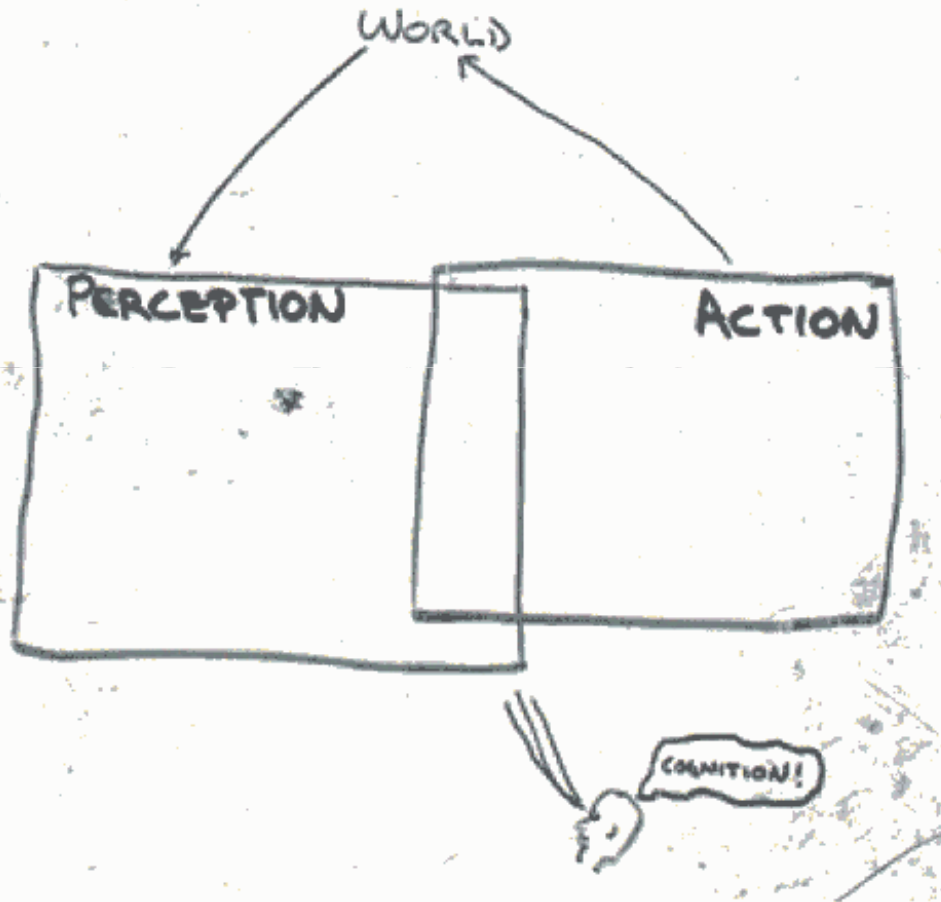
# La nuova sfida: una squadra di calcio di robot umanoidi

## RoboCup

Nel 2050 una squadra di calcio di robot umanoidi sfiderà la nazionale vincitrice del Campionato del Mondo



# Architetture di controllo Reattive o basate sul comportamento



**Figure 2:** The new model, where the perceptual and action subsystems are all there really is. Cognition is only in the eye of an observer.

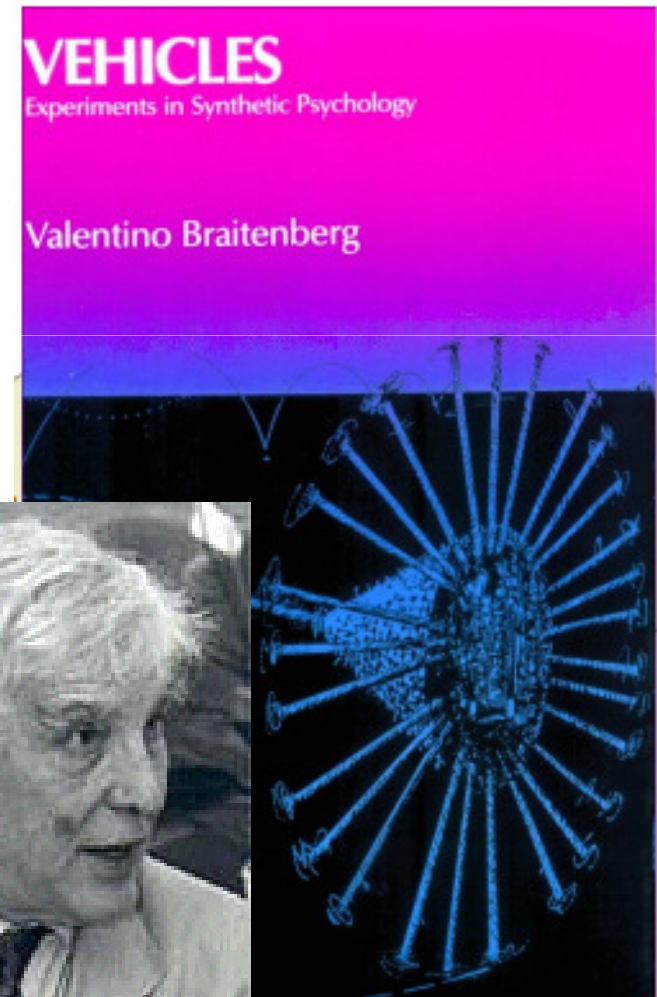
Non esiste un modulo “Cognizione” vero e proprio e i sistemi di percezione e attuazione collaborano per definire i comportamenti del robot

# Alcuni esempi tratti da...

## **Vehicles Experiment in Synthetic Psychology**

di Valentino Braitenberg  
The MIT Press

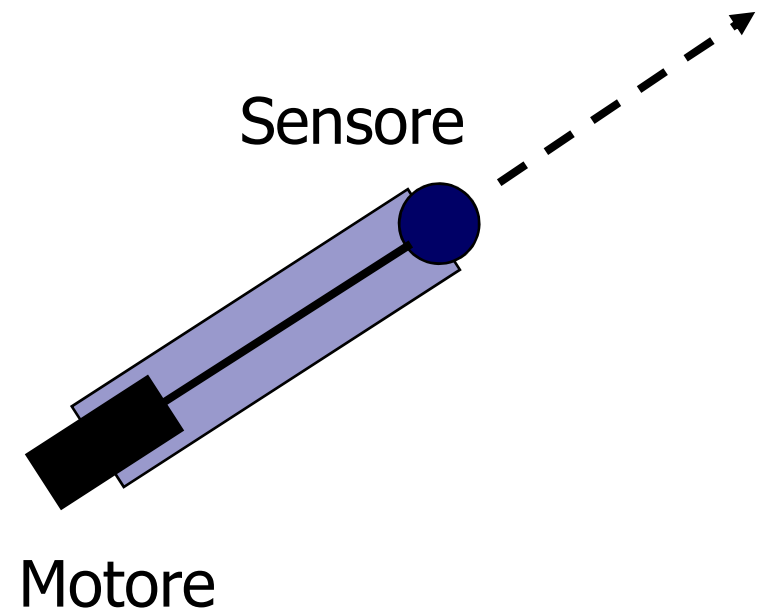
Director of the  
Max Planck Institute For  
Biological Cybernetics





# Esperimento 1

- Il primo veicolo è equipaggiato con un motore ed un sensore di temperatura: il motore è collegato direttamente al sensore
- Il collegamento è tale che la velocità del motore è proporzionale alla temperatura misurata dal sensore
- Il veicolo si muove sempre lungo la stessa direzione, più velocemente nelle zone calde e più lentamente nelle zone fredde





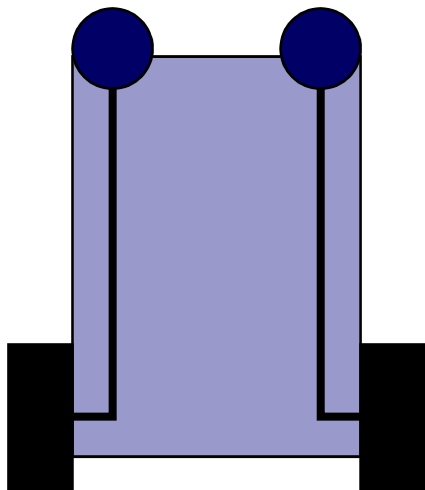
## Esperimento 2: paura e aggressione

- Il secondo veicolo è equipaggiato con due motori e due sensori, due coppie diverse per ogni lato del veicolo
- Ancora una volta i motori sono collegati ai sensori ed il collegamento è tale che la forza esercitata dal motore è proporzionale al valore misurato dal sensore
- Seguendo questo schema è possibile costruire due veicoli che assumono due comportamenti diversi a seconda del tipo di connessione sensori-motori

# Esperimento 2: paura e aggressione

**Veicolo 1**

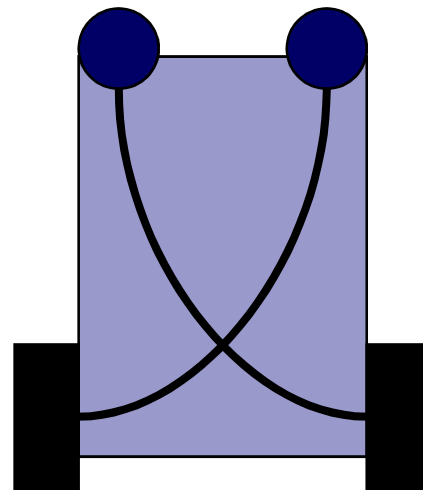
Sensori



Motori

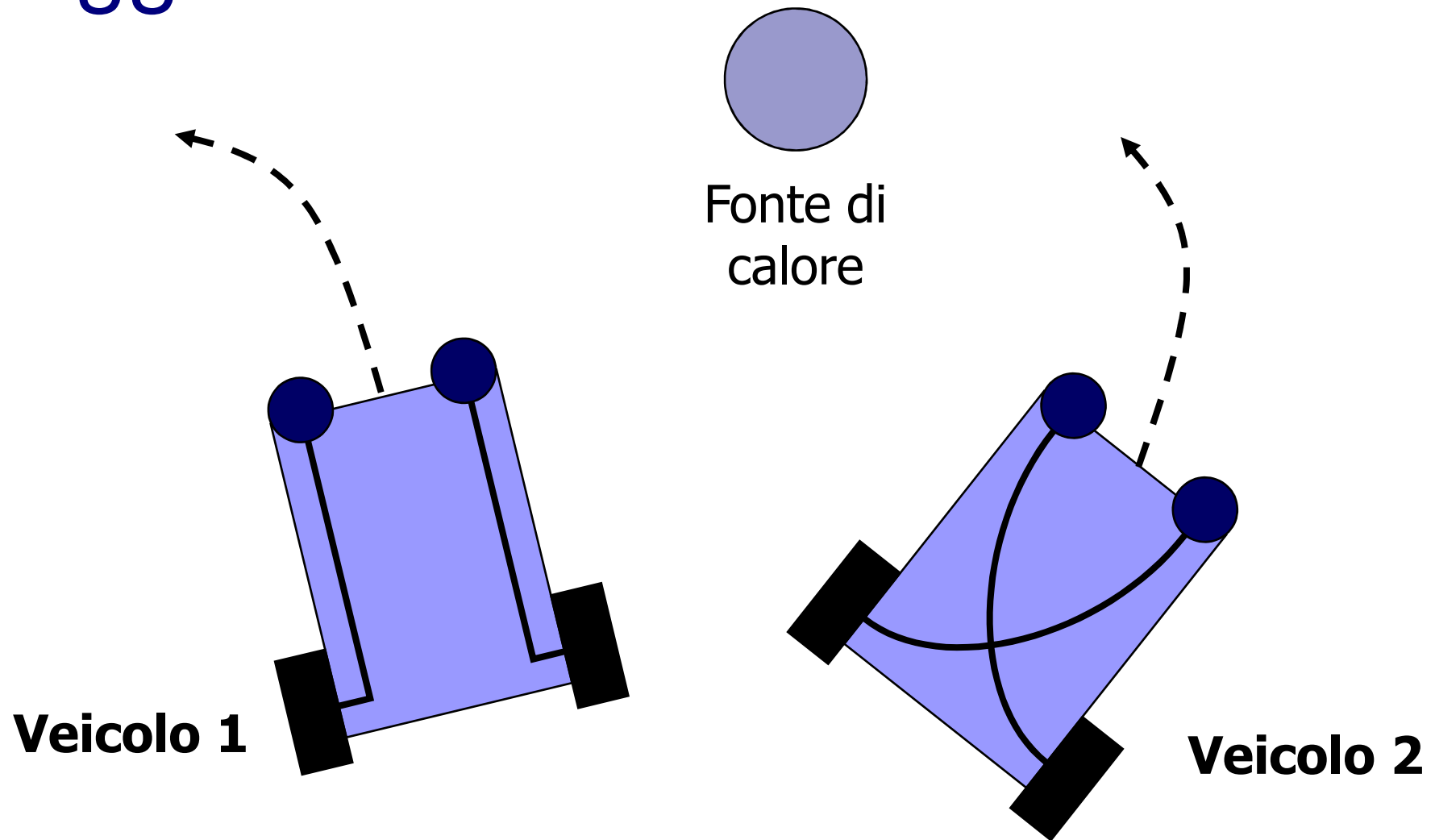
**Veicolo 2**

Sensori

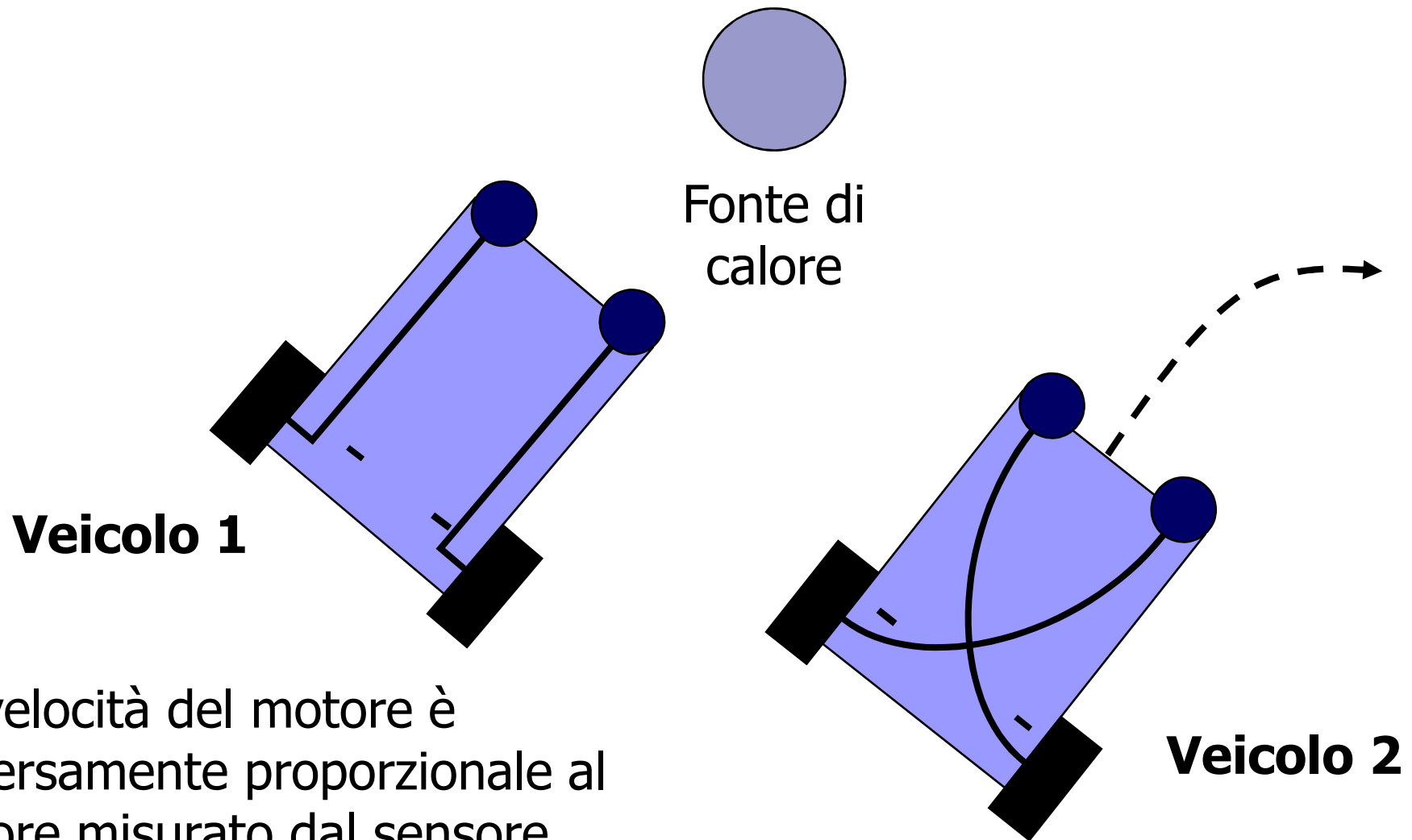


Motori

# Esperimento 2: paura e aggressione



# Esperimento 3: amore



la velocità del motore è  
inversamente proporzionale al  
valore misurato dal sensore

# Dalle architetture gerarchiche a quelle reattive

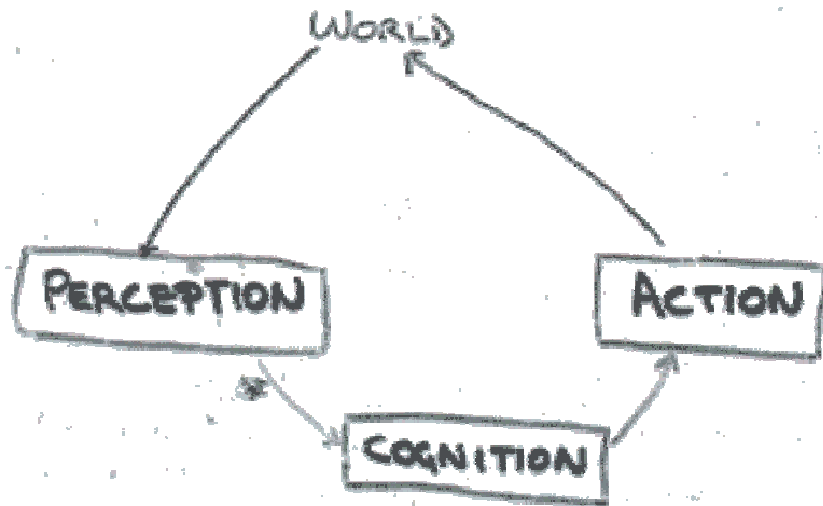


Figure 1: The traditional model where cognition mediates between perceptions and plans of actions.

deliberative, model-based

reactive, behavior-based

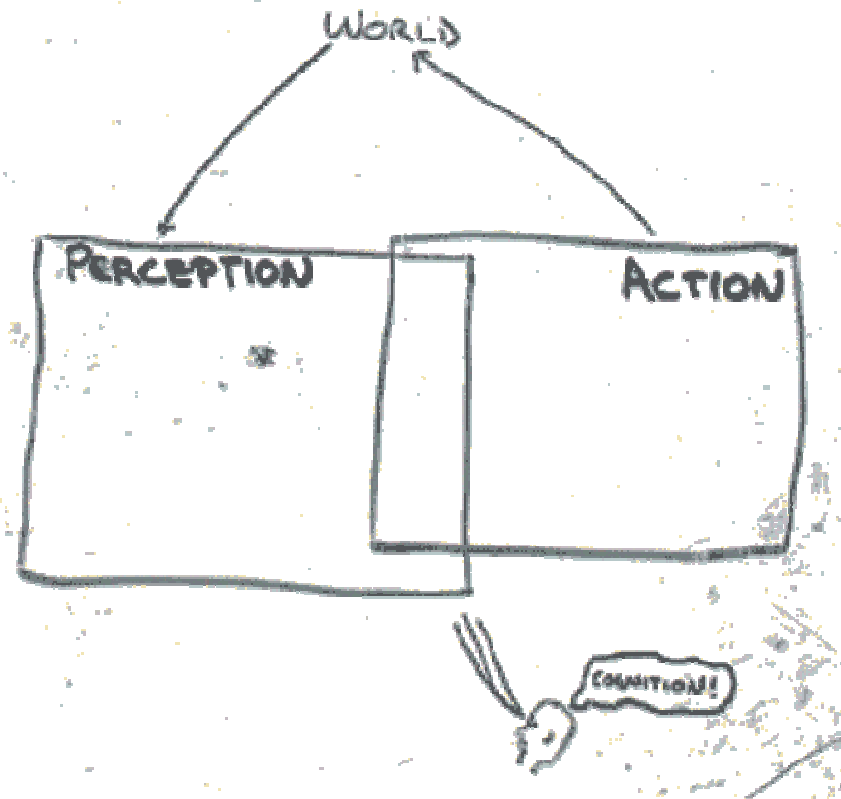


Figure 2: The new model, where the perceptual and action subsystems are all there really is. Cognition is only in the eye of an observer.

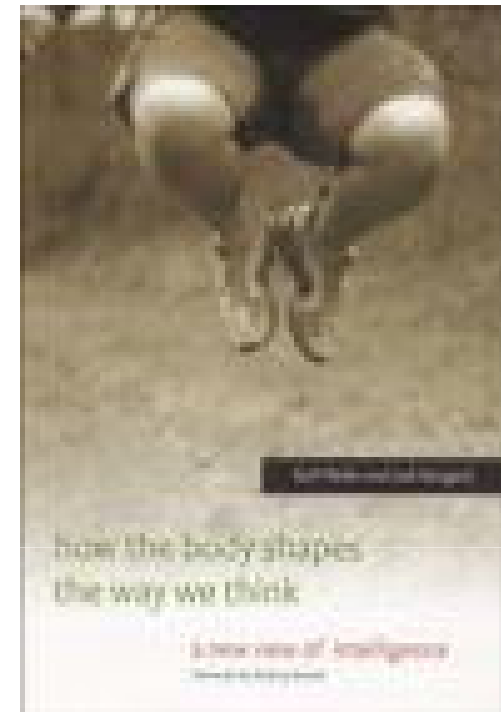
# Embodied Intelligence

- In Nature, adaptive behaviour emerges from the complex and dynamic interaction between the body morphology, sensory-motor control, and environment
- “Mechanical intelligence”

*Rolf Pfeifer, 2007*

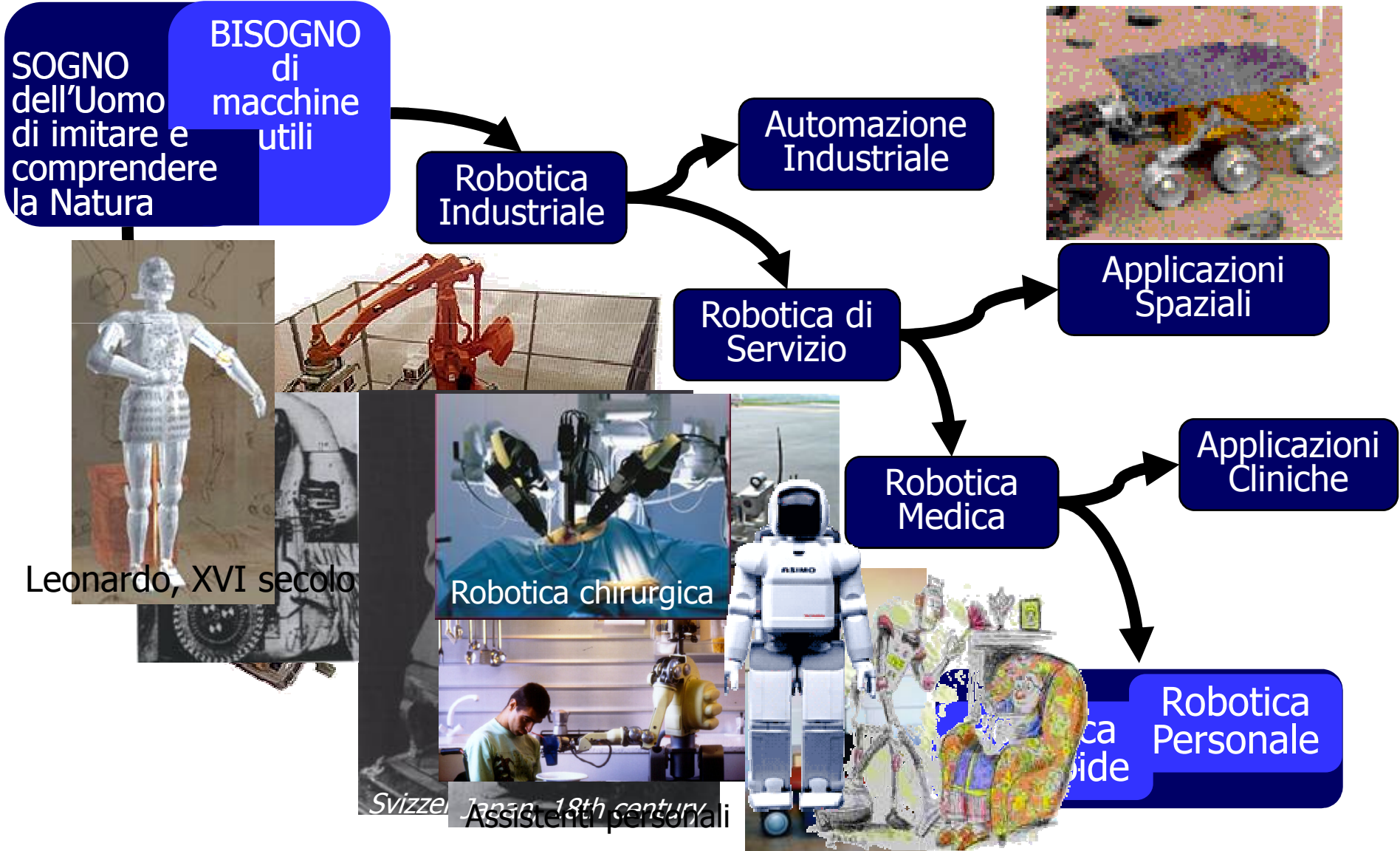
*Direttore Artificial Intelligence Laboratory*

*Università di Zurigo, Svizzera*



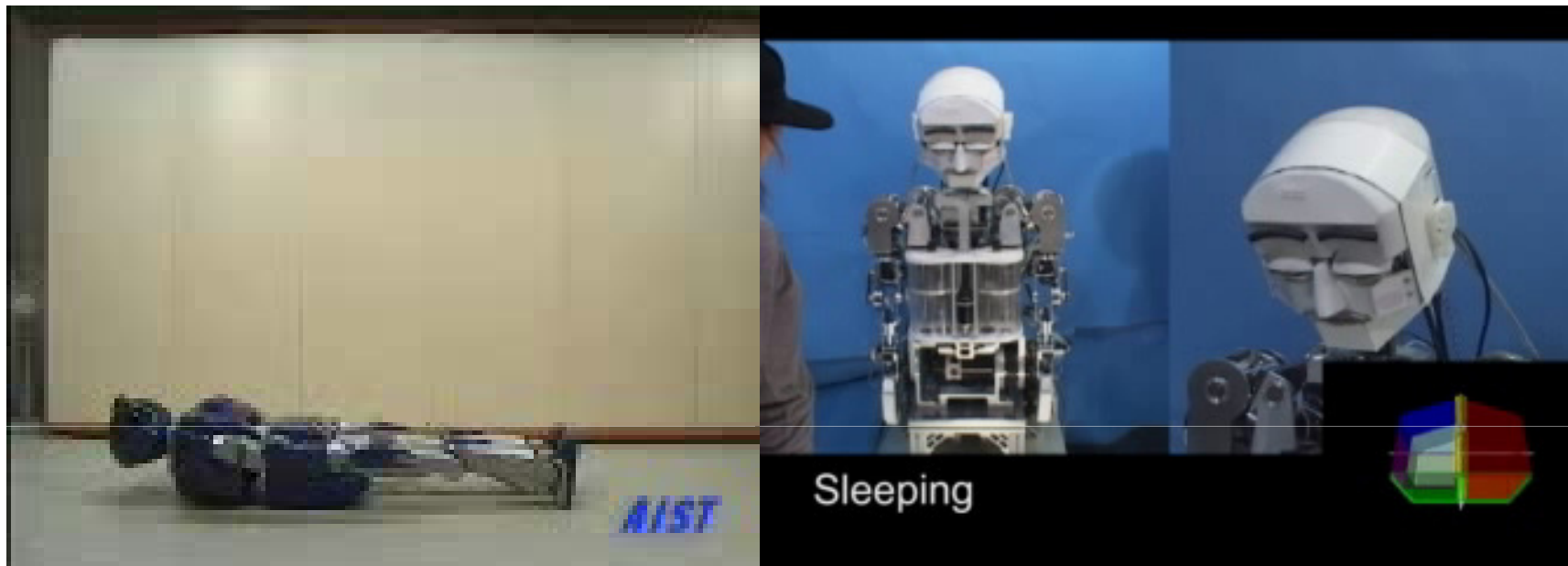
Rolf Pfeifer and  
Josh C. Bongard  
*How the Body  
Shapes the Way  
We Think*  
MIT Press 2007

# L'evoluzione della robotica tra sogno e bisogno

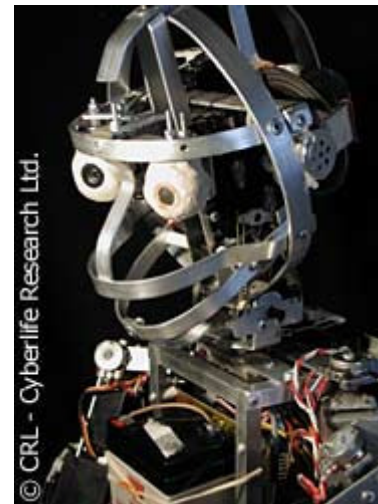




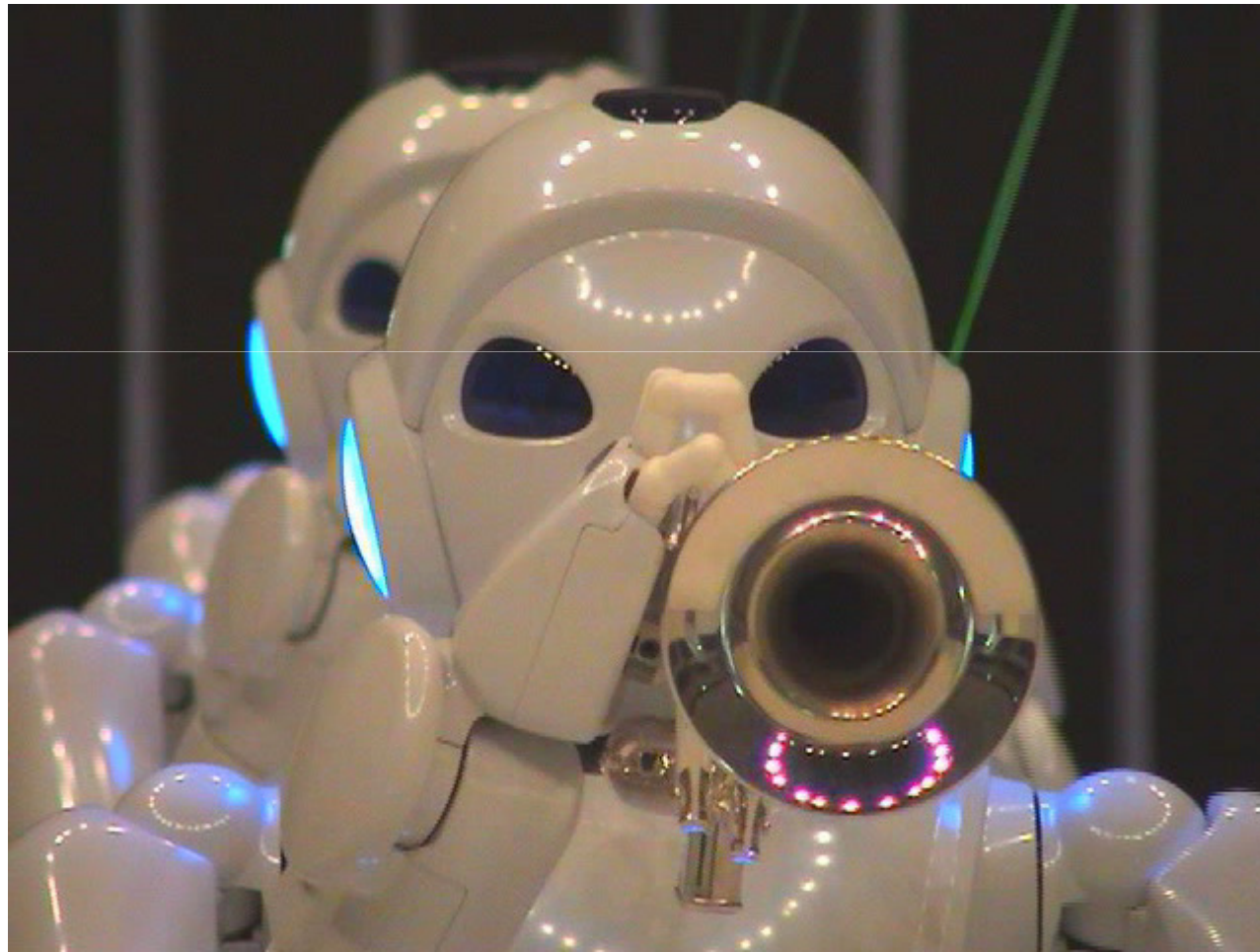
# La robotica oggi – alcuni esempi



# Esempi di robot umanoidi attuali



# Toyota Partner Robot







This robot has developed to recreate the human-like natural yet charming expressions with high functionalities retained.

Emphasizes on its own realistic presence with smooth gestures.

It has news hooks and high eye-catching effects. It can be utilized to play active part for many occasions as a chairperson with fluent narrations and booth bunny.

# ACTROID DER

ACTROID rentals are now available.  
Please call in for rental appointments.

Rentals are now available



**ACTROID DER**  
Have you ever seen  
this much lively robot?

*One to  
Robot*  
**Working  
girl**

Elegant, feminine, and  
Dearly at all times.....  
High-quality robot is available  
at a reasonable price  
with varieties of costumes to choose from for  
more opportunities to make better use of it.  
ACTROID rentals are now available.  
Please call in for rental appointments.

<http://www.kokoro-sanrio.co.jp/>

KOKORO COMPANY LTD 4-1 Shirotsada Hamura-cho, Tokyo 206-8505, Japan  
Tel: +81-42-536-3311 Fax: +81-42-536-3310



**Department of  
Adaptive Machine Systems  
Graduate School of Engineering  
Osaka University**

**KOKORO Co. Ltd.**

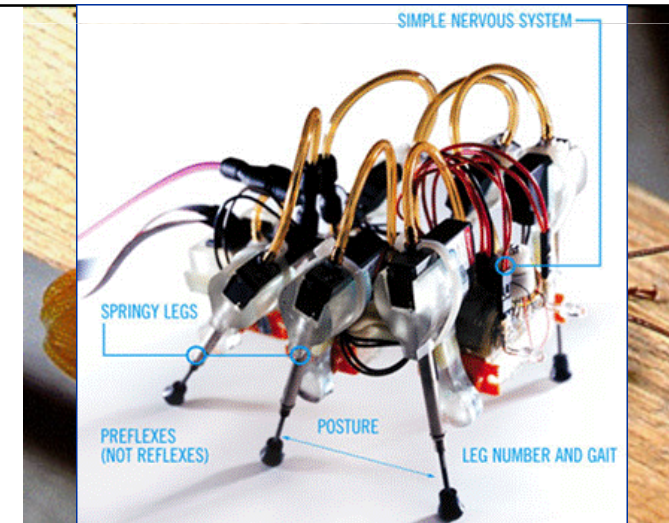
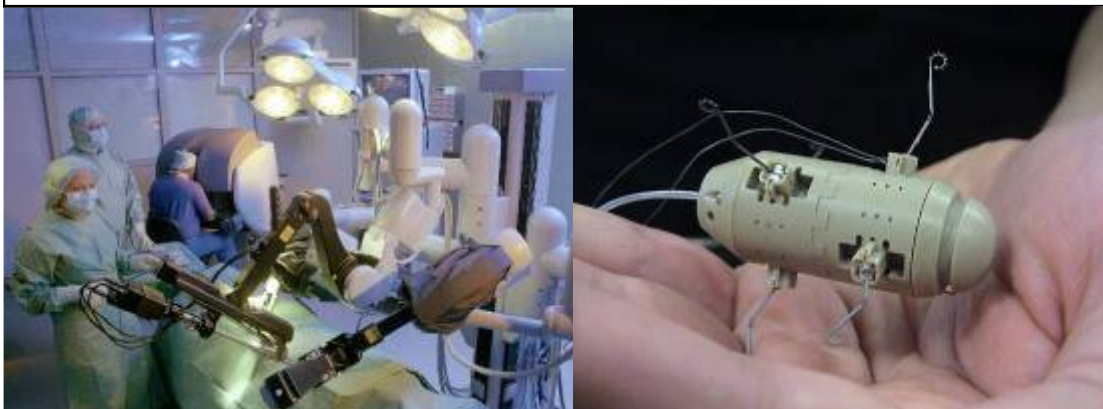


# Biorobotica

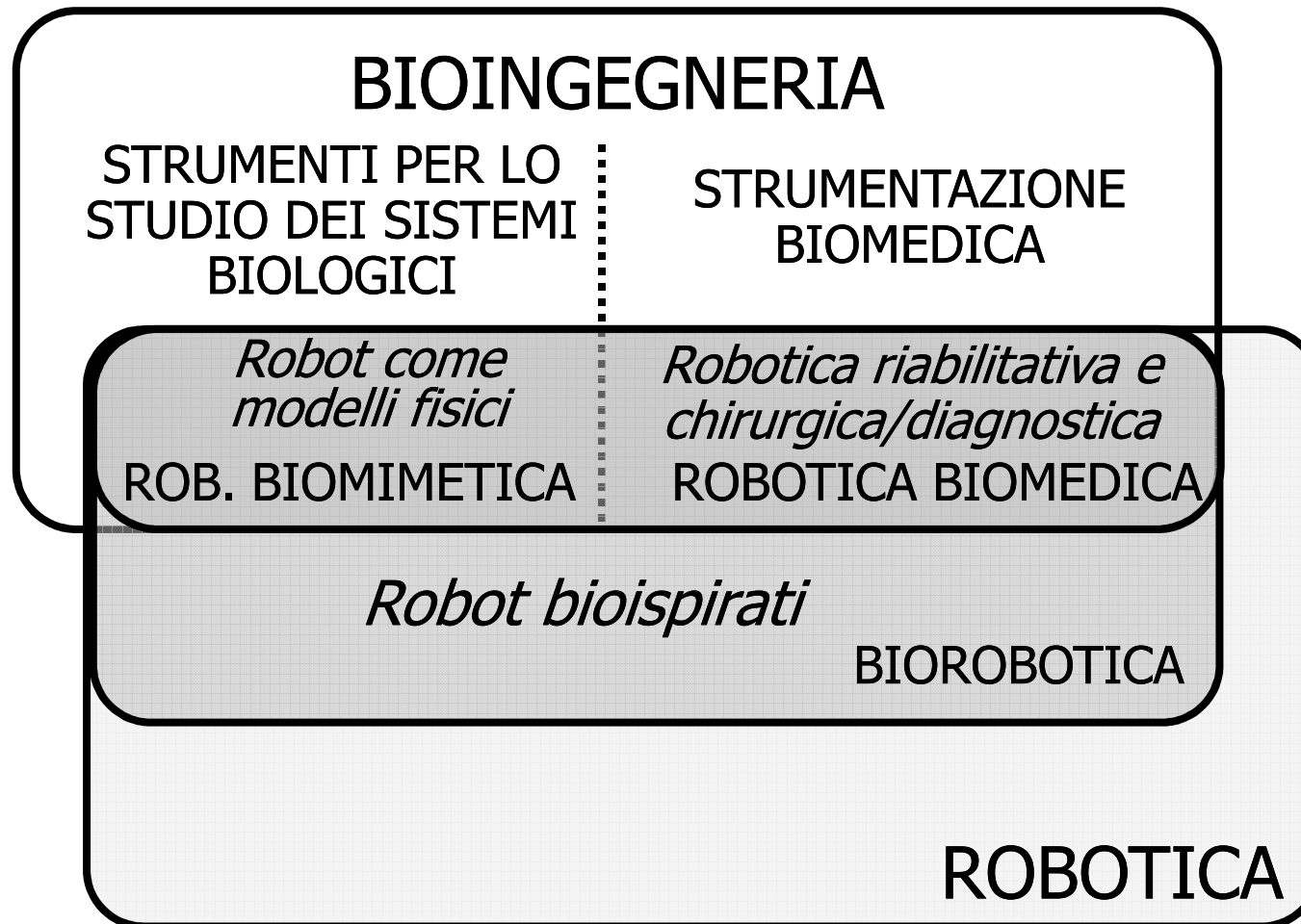
Studio dei sistemi biologici da un punto di vista "biomeccatronico"

Sviluppo di metodologie e tecnologie innovative per la progettazione e la realizzazione di macchine e sistemi **bioispirati e biomimetici** (ad es. umanoidi e animaloidi)

Sviluppo di dispositivi per **applicazioni biomediche** (ad es. chirurgia mini-invasiva e neuroriabilitazione)



# Biorobotica e bioingegneria





# L'ingegneria biomedica (o bioingegneria)

Applicazione di metodi e tecniche quantitativi, propri dell'ingegneria, nella comprensione, determinazione e risoluzione di problematiche di carattere medico-fisico





# Obiettivi della bioingegneria

- Miglioramento delle conoscenze sul funzionamento dei sistemi biologici, attraverso:
  - modelli matematici
  - metodi di elaborazione delle informazioni
  - strumentazione
- Sviluppo di nuove metodologie ed apparati diagnostici, terapeutici e riabilitativi, di nuovi organi artificiali, nuovi dispositivi di supporto a funzioni alterate, nuovi ausili e dispositivi protesici per disabili



# Biorobotica e bioingegneria

- La bioingegneria costituisce un ambito di fondamentale importanza per lo sviluppo della biorobotica perché:
  - La medicina e la biologia costituiscono importanti settori applicativi per la robotica avanzata (robotica biomedica)
  - La robotica può contribuire alla comprensione degli esseri viventi (robotica biomimetica) e dei meccanismi neuroscientifici che presiedono alla coordinazione senso-motoria e alla sintesi dei comportamenti nell'uomo (neuro-robotica)

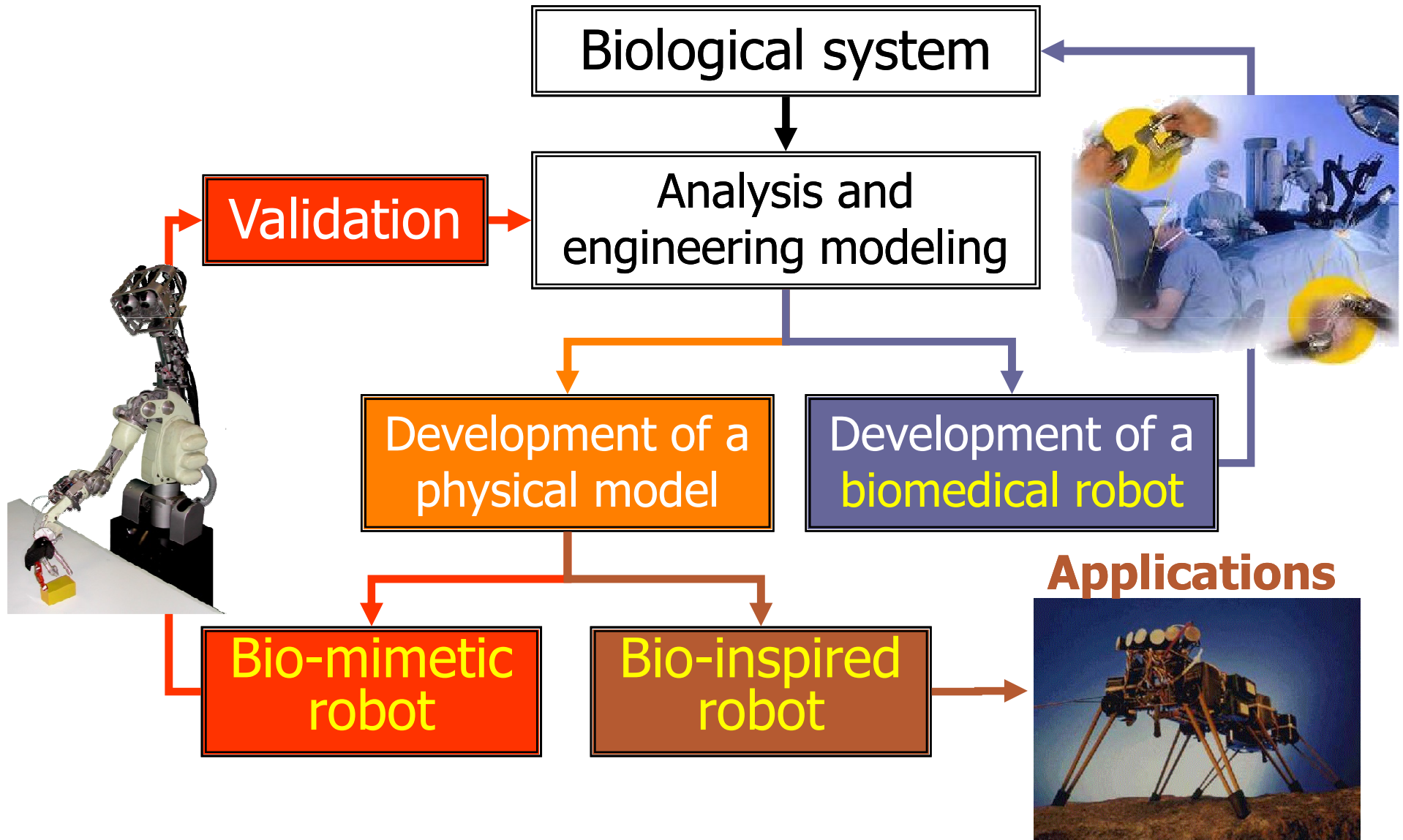


# Robotica Biomimetica

Applicazione della robotica nello studio di sistemi biologici

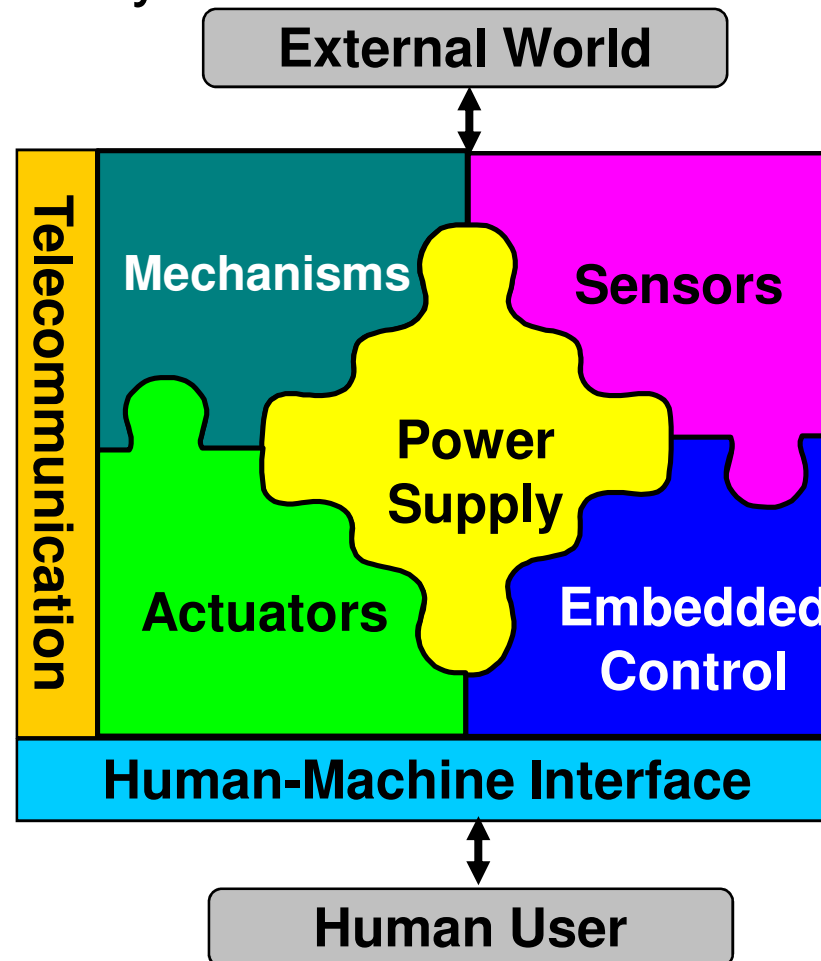
Uso di robot biomorfi come strumento sperimentale e modello fisico nella ricerca, principalmente in neuroscienze (Neuro-Robotica)

# Biomechatronic design



# Biomechatronic design

Joint design of the different mechanical, electronic, and IT components of the system



# Scienza e Ingegneria Biorobotica

Usare i robot per ***scoprire***...

Usare i robot per ***inventare***...